Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 16, No. 5, Dec- Jan 2021, p. 581-605

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد 16، شماره 5، آذر - دی 1399، ص. 605-581

مقاله علمی - پژوهشی

# تأثیر پوشش خوراکی حاوی کربوکسی متیل‌سلولز و متابی‌سولفیت‌سدیم بر ماندگاری قارچ دکمه‌ای

مهیار راد[1*] - حامد غفوری[2] - زهره غلامی[3]

تاریخ دریافت: 1398/07/16
تاریخ پذیرش: 1398/09/30

## چکیده

قارچ‌های خوراکی از فسادپذیرترین محصولات هستند و بلافاصله بعد از برداشت شروع به از دست دادن کیفیت می‌کنند که ماندگاری کوتاه این محصولات منجر به ایجاد مشکلاتی در هنگام پخش و بازاریابی این محصول به‌صورت تازه می‌شود. پوشش‌های خوراکی وسیله‌ای مناسب برای طولانی کردن عمر مفید مواد غذایی و افزایش کیفیت آنها بدون ایجاد آلودگی محیط زیست هستند. در این تحقیق بررسی امکان افزایش ماندگاری قارچ دکمه‌ای با استفاده از آنزیم بری و بعد پوشش‌دهی با کربوکسی متیل سلولز و متابی سولفیت سدیم مورد مطالعه قرار گرفت. متغیرهای مستقل شامل غلظت کربوکسی متیل سلولز و متابی سولفیت سدیم (صفر تا 2 درصد) و مدت زمان نگهداری تا 16 روز در دمای 4 درجه سانتی‌گراد بودند. آزمایشات بر اساس 3 فاکتور سه سطحی حاوی 6 نقطه مرکزی بعد از صفر و 4 و 8 و 16 روز نگهداری در دمای 4 درجه سانتی‌گراد طراحی شد. آزمایش‌های انجام شده روی قارچ دکمه‌ای شامل اندازه‌گیری pH ، درصد افت وزن، مواد جامد محلول، بافت، رنگ، میزان قهوه‌ای شدن، شمارش کلی میکروارگانیسم‌ها و شمارش کپک و مخمر بود. نتایج در این پژوهش نشان داد که نمونه پوشش داده شده با غلظت 2 درصد کربوکسی متیل سلولز به همراه غلظت 2 درصد متابی سولفیت سدیم باعث افزایش pH و میزان مواد جامد محلول گردید. کمترین مقدار شمارش کلی میکروارگانیسم‌ها و شمارش کپک و مخمر بعداز 16 روز نگهداری در دمای 4 درجه سانتی‌گراد در نمونه پوشش داده شده با غلظت 2درصد کربوکسی متیل سلولز به همراه غلظت 2درصد متابی سولفیت سدیم مشاهده شد. همچنین کمترین تغییرات رنگ، افت وزن و کاهش در سفتی بافت در این نمونه مشاهده گردید. بر اساس نتایج این پژوهش، پوشش‌های کربوکسی متیل سلولز و متابی سولفیت سدیم را می‌توان به‌عنوان یک ماده پوشش‌دهنده مناسب برای حفظ خصوصیات ارگانولپتیکی، شیمیایی، میکروبی و ماندگاری قارچ دکمه‌ای مورد استفاده قرار داد.

**واژه‌های کلیدی:** پوشش خوراکی، قارچ دکمه‌ای، کربوکسی متیل سلولز، متابی سولفیت سدیم، ماندگاری

## مقدمه

پرورش و تولید قارچ‌های خوراکی طی سال‌های اخیر به‌طور قابل توجهی افزایش پیدا کرده است. قارچ دکمه‌ای (*Agaricus bisporus*) پر طرفدارترین قارچ خوراکی بوده و بیشترین بازار تولید و مصرف را به‌خود اختصاص داده است (خضرایی و همکاران، 1394 ؛ سیاهرودی و همکاران، 1394). 35-20 درصد ماده‌ی خشک اغلب قارچ‌ها را پروتئین تشکیل می‌دهد. پروتئین قارچ از لحاظ اسیدهای‌آمینه جزء غنی‌ترین پروتئین‌ها محسوب می‌شود. وجود مقادیر بالای ویتامین‌های گروه B و C، عناصر و مواد معدنی و مقادیر پایین کربوهیدرات نشاسته‌ای و کلسترول سبب توجه بیشتر به قارچ به‌عنوان یک ماده‌غذایی کم‌کالری می‌باشد (زاهدی و صداقت، 1390). قارچ پس از برداشت به دلیل عدم وجود کوتیکول، سرعت بالای تنفس، رطوبت زیاد و فعالیت آنزیمی شدید دارای ماندگاری‌کمی نسبت به سایر محصولات باغی بوده و در مقابل آسیب‌های مکانیکی بسیار حساس می‌باشد. این عوامل قارچ را برای فساد میکروبی و قهوه‌ای‌شدن‌آنزیمی مستعد می‌کند. عمر مفید نگهداری قارچ بین 3 تا 5 روز است و علت عمده تغییر رنگ قارچ، فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز است (خضرایی و همکاران، 1394؛ سیاهرودی و همکاران، 1394؛ پاسبان و همکاران، 1392). محققین روش‌های مختلفی نظیر استفاده از بسته‌بندی با اتمسفر تغییر یافته، انجماد، خشک کردن، تیمار با محلول‌های آبی حاوی ترکیبات مهارکننده فعالیت آنزیمی و آنزیم‌بری را جهت نگهداری و افزایش زمان ماندگاری قارچ مورد بررسی قرارداده‌اند. خشک کردن معمول‌ترین

1- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی، موسسع غیرانتفاعی مهرآیین بندر انزلی، گیلان، رضوانشهر.
2- دانشجوی دکتری تخصصی، دانشکده علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سبزوار
3- دانشجوی دکتری شیمی آلی، دانشگاه گیلان
(*- نویسنده مسئول: Email: Mahyar.rad@yahoo.com)
DOI: 10.22067/ifstrj.v16i5.83614

روش‌های فرآوری جهت افزایش مدت زمان نگهداری قارچ می‌باشد (پاسبان و همکاران، 1392). امروزه از پوشش‌های‌خوراکی جهت جلوگیری از تغییرات نامطلوب کیفی محصولات مختلف استفاده می‌شود. فیلم‌ها و پوشش‌های‌خوراکی از پلیمرهای طبیعی تهیه می‌شوند بدون اینکه از مواد شیمیایی استفاده شود و باعث ارتقاء کیفی و افزایش زمان ماندگاری مواد غذایی می‌شوند و روش‌مناسب و نوآورانه‌ای از نظر اقتصادی و تغذیه‌ای می‌باشد و به پوشش‌های پروتئینی، پلی‌ساکاریدی، لیپیدی یا ترکیبی از آنها تقسیم‌بندی می‌شوند که می‌توانند با به تأخیر انداختن در کاهش از دست دادن آب، حفظ ترکیبات معطر، کاهش‌تنفس و تأخیر در تغییرات ساختاری موجب افزایش نگهداری محصولات غذایی گردند (قربانی و همکاران، 1395؛ سیاهرودی و همکاران، 1394). یکی از مشتقات مهم سلولز، کربوکسی‌متیل‌سلولز[1](CMC) است. سلولز به علت ساختار شیمیایی خاص خود، بسیار کریستالی و نامحلول است اما کربوکسی‌متیل‌سلولز محلول در آب بوده و به تنهایی فیلم‌های انعطاف‌پذیر و مستحکمی را تشکیل می‌دهد. همچنین کربوکسی متیل سلولز یکی از ارزان‌ترین بیوپلیمرهای زیستی است که به‌صورت صنعتی تولید می‌شود (محمدی و همکاران، 1391؛ قنبرزاده و همکاران، 1390). نگهدارنده و یا عوامل ضدمیکروبی نقش مهمی در عرضه امروزه از غذاهای سالم و پایدار دارند. برخی از مواد نگهدارنده که معمولا استفاده می‌شود، مانند: سولفیت‌ها، نیترات و نمک، برای قرن‌ها در گوشت و شراب فرآوری شده استفاده شده‌اند. متابی‌سولفیت‌سدیم یا سدیم پیروسولفیت گاهی اوقات به‌عنوان دی‌سدیم[2] نیز نامیده می‌شود. از این ترکیب به‌عنوان یک عامل ضدعفونی‌کننده، آنتی‌اکسیدان، احیاکننده، نگهدارنده و نیز جهت جلوگیری از فساد مواد غذایی استفاده می‌شود (محمدحسینیان و صداقت، 1394).

پوشش‌خوراکی بر پایه ژل‌آلوئه‌ورا در غلظت رقیق شده با آب‌مقطر (25 درصد وزنی-وزنی) و سطوح مختلف عصاره‌گزنه (غلظت 0/5، 1 و 1/5 درصد) به عنوان تیمار پس از برداشت در گروه حاوی عوامل ضدقهوه‌ای‌شدن (1% اسید سیتریک، 0/5٪ کلرید کلسیم و 2% اسید آسکوربیک) بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی و ارزیابی رنگ و ماندگاری قارچ دکمه‌ای سفید طی صفر، 3، 6، 9 و 12 روز انبارمانی دردمای 1±4 درجه سلسیوس و رطوبت‌نسبی 5±80 درصد مورد مطالعه قرارگرفت. نتایج نشان داد که پوشش‌آلوئه‌ورا و عصاره‌گزنه به‌صورت معناداری از افت‌وزن و تخریب اسیدآسکوربیک نسبت به نمونه شاهد در 12 روز پس از شروع انبارمانی جلوگیری می‌کند. همچنین میزان تغییرات در رنگ، مقدار کل مواد جامد محلول، اسیدیته قابل تیتراسیون و مقدار pH قارچ‌های تیمارشده نسبت به نمونه شاهد کمتر بود. ترکیب تیمار ژل‌آلوئه‌ورا و عصاره‌گزنه به‌عنوان یک ترکیب نگهدارنده طبیعی با کلریدکلسیم و اسیدسیتریک باعث کاهش سرعت فرآیندهای متابولیکی و حفظ ساختار سلول‌ها و در نهایت موجب حفظ خصوصیات‌کیفی قارچ‌دکمه‌ای‌خوراکی و افزایش مدت نگهداری می‌گردد و تأثیر بهتری نسبت به تیمار ژل‌آلوئه‌ورا و عصاره‌گزنه به همراه اسیدآسکوربیک داشت (سیاهرودی و همکاران،1394).

طی مطالعه‌ای روی اثر پوشش‌خوراکی بر کیفیت و تغییرات میکروبی نوعی قارچ‌خوراکی بدین نتیجه رسیدند که ترکیب گلوکز و کیتوزان، افت وزن و آلودگی میکروبی قارچ خوراکی را در مدت نگه‌داری به‌طور معنی‌داری کاهش می‌دهد و باعث بهبود ظاهری و بهبود خواص حسی و رنگ، ویتامین C و ماندگاری بیشتر قارچ‌خوراکی می‌شود (جیانگ و همکاران، 2012).

هدف از این بررسی تاثیر پوشش‌خوراکی کربوکسی‌متیل‌سلولز و متابی‌سولفیت‌سدیم روی ویژگی‌های شیمیایی، ارگانولپتیکی و میکروبی قارچ دکمه‌ای برای افزایش ماندگاری قارچ می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

قارچ دکمه‌ای[3] از محل پرورشی در شهرستان رضوانشهر تهیه گردید و تحت شرایط استاندارد به محل آزمون انتقال یافت.

### آنزیم بری

قارچ‌ها در دمای 95 درجه سانتی‌گراد به مدت یک دقیقه (جیانگ و همکاران،2015) در داخل دستگاه روتاری خلا (حمام آب گرم) قرار گرفتند تا عمل آنزیم‌بری صورت گیرد. سپس قارچ‌ها از آب خارج و خنک گردیدند و روی توری قرار داده شدند تا آب اضافی آنها خارج شود.

### پوشش‌دهی

پوشش‌دهی قارچ‌ها توسط کربوکسی‌متیل سلولز و متابی‌سولفیت سدیم (هر دو در غلظت‌های صفر (شاهد)، 1 و 2 درصد) انجام شد.

### آماده‌سازی نمونه‌ها

محلول کربوکسی متیل سلولز و متابی‌سولفیت سدیم در غلظت‌های مورد نظر در آب مقطر آماده شد (جدول 1). سپس قارچ‌ها در محلول‌های مورد نظر به مدت یک دقیقه قرار گرفتند تا لایه نازکی از پوشش روی قارچ تشکیل گردد. سپس نمونه‌های قارچ از محلول خارج و روی توری سیمی قرار گرفتند تا قطرات اضافی محلول از نمونه‌ها جدا و پوشش خشک شود. سپس نمونه‌ها در ظروف یکبار مصرف

1 Carboxymethyl cellulose
2 Metabisulfitee
3 Agaricus Bisporus

پلی‌اتیلینی بسته بندی شدند و در دمای 4 درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. نمونه‌ها در روزهای صفر تا 16 طی سه تکرار مورد آزمایشات شیمیایی، ارگانولپتیکی و میکروبی قرار گرفتند.

**جدول 1- درصد ترکیبات در نمونه‌های مختلف**

| شماره نمونه | متابی سولفیت سدیم (%) | کربوکسی متیل سلولز (%) |
|---|---|---|
| **1** | 0 | 0 |
| **2** | 0 | 1 |
| **3** | 0 | 2 |
| **4** | 2 | 0 |
| **5** | 1 | 0 |
| **6** | 1 | 1 |
| **7** | 1 | 2 |
| **8** | 2 | 1 |
| **9** | 2 | 2 |

## آزمایشات شیمیایی

pH نمونه‌ها بااستفاده از دستگاه pHمتر دیجیتال خوانده شد (ایسا،2007).

## افت وزنی

جهت تعیین میزان افت وزن قارچ‌ها، ابتدا در روز اول نگهداری (روز صفر) قارچ‌ها وزن شده و سپس در روزهای تعیین شده نیز توزین می‌گردند. درصد کاهش وزن بر اساس رابطه ذیل محاسبه می‌گردد:

$$\text{درصد کاهش وزن} = \frac{\text{وزن قارچ در روز صفر} - \text{وزن قارچ در روز x}}{\text{وزن قارچ در روز صفر}} \times 100 \quad (1)$$

X= وزن قارچ در روزهای تعیین شده (لاگنیکا و همکاران، 2013)

## مواد جامد محلول

جهت تعیین میزان مواد جامد محلول، نمونه قارچ دکمه‌ای را با استفاده از دستگاه میکسر هموژن کرده و سپس از کاغذ صافی عبور داده و با دستگاه رفراکتومتری خوانده می‌شود. میزان مواد جامد محلول برحسب درصد (درجه بریکس) بیان می‌گردد (جیانگ و همکاران، 2012).

## میزان قهوه‌ای شدن

اندیس قهوه‌ای شدن از پارامترهای مهم اندازه‌گیری واکنش‌های قهوه‌ای شدن می‌باشد. این پارامتر با استفاده از رابطه 2 محاسبه می‌شود (جیانگ، 2013).

$$BI = \frac{100(x-0.31)}{0.172} \quad (2)$$

که مقدار x از رابطه زیر به‌دست می‌آید.

$$x = \frac{a+1.75L}{5.645L+a-3.012b} \quad (3)$$

a: میزان قرمز/ سبز بودن

b : میزان زرد/آبی بودن

l : میزان روشنایی/تاریک بودن

## آزمایشات ارگانولپتیکی

### رنگ

تصویرگیری با استفاده از تجهیزات عکس‌برداری متشکل از اتاقک تاریک (جهت جلوگیری از ایجاد نوسان در عکس‌برداری و عدم بازتاب نور) و دو لامپ فلورسانت انجام گرفت. عکس‌برداری با استفاده از دوربین (cannon power shot 1000D) انجام گرفت. میزان تغییر رنگ ($\Delta E$) نمونه‌های تیمارشده را با قارچ تازه با استفاده از رابطه 4 به‌دست آمد. *a، *b و *L به‌ترتیب میزان پارامتر قرمزی، زردی و روشنایی را در نمونه‌های تحت آزمون نشان می‌دهد (جیانگ، 2013).

$$\Delta E = [(L - 97)^2 + (a - (-2))^2 + b^2]^{1/2} \quad (4)$$

## بافت (سفتی)

آزمون نفوذپذیری روی کلاهک قارچ با استفاده از دستگاه بافت‌سنج (LFRA-4500، Brookfield، آمریکا) توسط پروبی با قطر 5 میلی‌متر انجام گرفت. عمق نفوذ در نمونه‌ها 5 میلی‌متر و سرعت حرکت 2 میلی‌متر بر ثانیه تنظیم شد. حداکثر نیرو (نیوتن) در منحنی نیرو در برابر زمان نفوذ، سفتی تعریف می‌شود (جیانگ، 2013).

### آزمایشات میکروبی

#### شمارش کلی میکروارگانیسم‌ها

ابتدا میزان مورد نیاز از محیط PCA[1] و محلول رینگر را تهیه و اتوکلاو می‌نماییم. ظرف در پیچ‌دار استریل را روی ترازو قرار داده و ترازو را صفر می‌کنیم. به ازای هر نمونه، 5 گرم از نمونه قارچ را داخل ظرف در پیچ‌دار وزن نموده و به آن 45 میلی‌لیتر از محلول رقیق‌کننده رینگر می‌افزاییم تا سوسپانسیون اولیه تهیه گردد. با استفاده از پیپت استریل، میزان یک میلی‌لیتر از سوسپانسیون اولیه را برداشته و به پلیت استریل منتقل می‌کنیم. حدود 12 تا 15 میلی‌لیتر از محیط پلیت کانت آگار با دمای 44 تا 47 درجه سلسیوس به هر پلیت می‌افزاییم. پس از افزودن محیط کشت به پلیت‌ها، انها را بوسیله حرکت چرخشی مخلوط و سپس روی سطح افقی خنک قرار می‌دهیم تا کاملا ببندد. پلیت‌ها را به‌صورت وارونه داخل انکوباتور 1±30 در جه سلسیوس به مدت 3±72 ساعت گرمخانه‌گذاری می‌کنیم. پس از گذشت 72 ساعت، پلیت‌ها را از انکوباتور خارج نموده و شمارش کلنی‌ها را انجام می‌دهیم و نتایج به‌صورت cfu/g بدست آمد (درویشی و همکاران، 1394).

#### شمارش کپک و مخمر

ابتدا میزان مورد نیاز از محیط کشت YGC[2] و محلول آب پپتونه را تهیه و اتوکلاو می‌نماییم. میزان 12 تا 15 میلی‌لیتر از محیط YGC را درون پلیت‌های استریل ریخته اجازه می‌دهیم تا خنک شده و ببندد. به ازای هر نمونه، 5 گرم از نمونه قارچ را داخل ظرف در پیچ‌دار وزن نموده و به آن45 میلی لیتر از محلول آب پپتونه می‌افزاییم تا سوسپانسیون اولیه تهیه گردد. با استفاده از پیپت استریل مقدار یک دهم میلی‌لیتر از سوسپانسیون اولیه را به پلیت حاوی محیط کشت YGC منتقل می‌کنیم. با استفاده از میله شیشه‌ای ال شکل، سوسپانسیون را روی محیط کشت پخش می‌نماییم. پلیت‌ها را به مدت پنج تا هفت روز در انکوباتور 25°C گرمخانه‌گذاری می‌کنیم. پس از گذشت این مدت کلنی‌ها را می‌شماریم و نتایج به‌صورت cfu/g بدست آمد (درویشی و همکاران، 1394).

#### تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

آنالیز آماری نمونه‌ها با استفاده از روش سطح پاسخ و با نرم‌افزار Design Expert 7 انجام گرفت. از طرح CCD[3] با 3 فاکتور متابی سولفیت سدیم، کربوکسی متیل سلولز و زمان در 3 سطح و 6 تکرار در نقطه‌ی مرکزی استفاده گردید. تمام آزمون‌ها در 3 تکرار انجام شد. با کاربرد آنالیز رگرسیون شاخص‌های اندازه‌گیری شده در قالب یک چند جمله‌ای درجه دوم بر طبق معادله زیر مدل سازی شدند.

$$Y=\beta0 +\beta1A1 +\beta2B2 +\beta3C3 +\beta11A21 +\beta22B22 +\beta33C23 +\beta12A1B2 +\beta13A1C3 +\beta23B2C3 \quad (5)$$

که در آن Y پاسخ‌های مختلف و β0 ضرایب ثابت مدل‌ها است. (β1، β2، β3)، (β11، β22، β33) و (β12، β13، β23) به‌ترتیب نشان دهنده اثر خطی، درجه دوم و برهم‌کنش مدل پیشنهادی به وسیله‌ی آنالیز چندگانه رگرسیون می‌باشد. متابی سولفیت سدیم (A)، کربوکسی متیل سلولز(B)، زمان (C) به عنوان متغیر های مستقل می‌باشند.

## نتایج و بحث

به‌منظور حصول مدل‌های تجربی برای پیش‌بینی پاسخ، رابطه‌های خطی و چند جمله‌ای درجه دوم برای داده‌ها به‌دست آمده از آزمایش‌ها برازش شدند. سپس این مدل‌ها مورد آنالیز آماری قرار گرفته تا مدل مناسب گزینش گردد. نتایج حاصل از مدل سطح پاسخ در فرم ANOVA برای هر پارامتر به‌صورت جداگانه آورده شده است.

متابی سولفیت سدیم (A)، کربوکسی متیل سلولز(B)، زمان (C) به‌عنوان متغیرهای مستقل و مقدار هر آزمون به‌عنوان متغیر پاسخ وابسته انتخاب شدند.

### آزمایشات شیمیایی

#### pH

نتایج تجزیه واریانس مدل سطح پاسخ برای میزان pH در جدول 2 ارائه شده است. در این جدول مقدار P محاسبه شده برای مدل 0/0011 بود که نشان‌دهنده معنی‌داری مدل است. ضریب تبیین $R^2$ (0/8867) و ضریب تبیین تعیین شده $R^2adj$ (0/7848) تایید می‌کند که مدل معنی‌دار است. همانطور که در شکل1 مشاهده می‌گردد در غلظت 2درصد کربوکسی متیل سلولز و متابی سولفیت سدیم مقدار pH بعد از 16 روز نگهداری در دمای 4 درجه سانتیگراد افزایش یافت. البته این افزایش در نمونه‌های حاوی 1 درصد متابی سولفیت سدیم در روز 8 نگهداری در دمای 4 درجه سانتی‌گراد دارای مقدار حداکثر بود. نمونه پوشش داده شده با 2درصد کربوکسی متیل سلولز بعداز 16 روز نگهداری در دمای 4درجه سانتی‌گراد دارای کمترین pH بود و بعدازآن نمونه شاهد در روز 16 نگهداری در دمای 4 درجه سانتیگراد دارای کمترین pH بود. در تحقیقی که توسط سیاهرودی و همکاران (1394) انجام دادند مقدار pH قارچ‌ها پس از پوشش‌دهی و در طی انبارداری تغییر معنی‌دار و محسوسی نسبت به شاهد نشان نداد.

$$pH = 6.05541+1.06835*A- 0.66925*B+ 0.090356*C- 3.75000E-003*A*B+ 3.48958E-003*A*C- 9.11458E-003*B*C- 0.45676*A^2+ 0.39041*B^2- 2.03267E-003*C^2 \quad (6)$$

1 Plate Count Agar

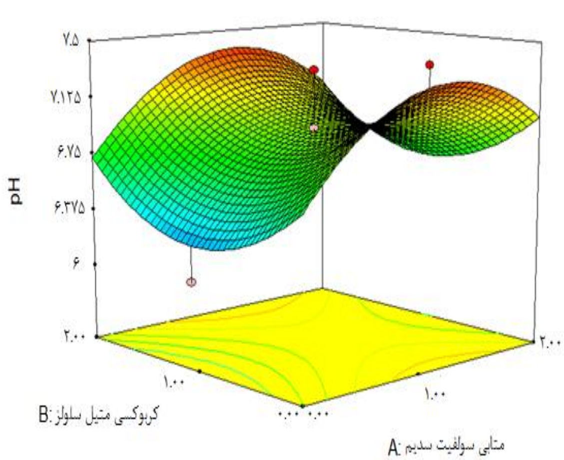
2 Yeast extract glucose chloramphenicol

3 Central Composite Design

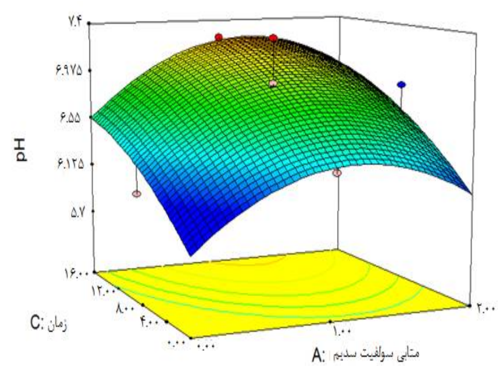
جدول 2- نتایج تجزیه آنالیز واریانس میزان pH در قارچ دکمه‌ای

| منبع | درجه آزادی (df) | مجموع مربعات (SS) | میانگین مربعات (MS) | F | P P>F |
|---|---|---|---|---|---|
| مدل | 9 | 3/00 | 0/33 | 8/70 | 0/0011 |
| A | 1 | 0/32 | 0/32 | 8/37 | 0/0160 |
| B | 1 | 0/012 | 0/012 | 0/32 | 0/5852 |
| C | 1 | 1/74 | 1/74 | 45/56 | <0/0001 |
| AB | 1 | 1/125E-004 | 1/125E-004 | 2/938E-003 | 0/9578 |
| AC | 1 | 6/235E-003 | 6/235E-003 | 0/16 | 0/6950 |
| BC | 1 | 0/043 | 0/043 | 1/11 | 0/3167 |
| A2 | 1 | 0/57 | 0/57 | 14/98 | 0/0031 |
| B2 | 1 | 0/42 | 0/42 | 10/95 | 0/0079 |
| C2 | 1 | 0/047 | 0/047 | 1/22 | 0/2961 |

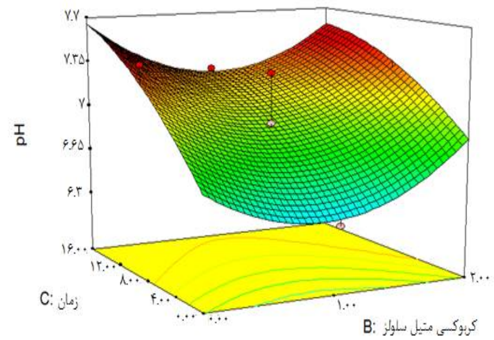
$R^2adj$ =0/7848 , $R^2$ =0/8867, C.V% =2/86




شکل 1- تاثیر کربوکسی متیل سلولز و متابی سولفیت سدیم بر محتوای pH قارچ دکمه‌ای




شکل 2- تاثیر متابی سولفیت سدیم در طول دوره نگهداری بر محتوای pH قارچ دکمه‌ای




**شکل 3- تاثیر کربوکسی متیل سلولز در طول دوره نگهداری بر محتوای pH قارچ دکمه‌ای**

### افت وزنی

کاهش وزن یک فرایند مهم فیزیولوژیکی است و یکی از مهمترین شاخص‌های کیفیت قارچ تازه به‌شمار می‌آید. خسارات کاهش وزن میوه به‌طور عمده با تنفس و تبخیر آب در اطراف پوست میوه ارتباط دارد. همچنین کاهش در نتیجه از دست‌دهی آب از سطح میوه می‌باشد و از نظر ظاهری محصول دچار پوسیدگی و چروکیدگی می‌شود (سیاهرودی و همکاران، 1394؛ خضرایی و همکاران، 1394).

نتایج تجزیه واریانس مدل سطح پاسخ برای میزان افت وزن در جدول 2 ارائه شده است. در این جدول مقدار P محاسبه شده برای مدل کمتر از 0/0001 بود که نشان‌دهنده معنی‌داری مدل است. ضریب تبیین $R^2$ (0/9989) و ضریب تبیین تعیین شده $R^2_{adj}$ (0/9980) تایید می‌کند که مدل معنی‌دار است. همانطور که در شکل 1 مشاهده می‌گردد بیشترین میزان افت وزن در نمونه شاهد بعداز 16 روز نگهداری در دمای 4 درجه سانتی‌گراد مشاهده گردید. کمترین افت وزن در نمونه پوشش داده شده با غلظت 2درصد دو ترکیب کربوکسی متیل‌سلولز و متابی سولفیت سدیم بعداز 16 روز نگهداری در دمای 4 درجه سانتی‌گراد مشاهده گردید. سیاهرودی و همکاران (1394) اثر پوشش ژل آلوئه ورا به‌همراه عصاره گیاه گزنه برروی کاهش وزن قارچ در طول دوره نگهداری بررسی کردند. کمترین کاهش وزن مربوط به پوشش‌دهی قارچ در پوشش خوراکی ژل آلوئه‌ورا و 1/5 درصد عصاره گزنه حاوی اسید سیتریک و کلرید کلسیم (E) (1/87) بود. بیشترین مقدار کاهش وزن مربوط به نمونه قارچ شاهد (3/1) بود که با سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری نشان داد. کاهش وزن با گذشت زمان به‌طور معنی‌داری افزایش یافت به‌گونه‌ای که میانگین در تمامی زمان‌ها با یکدیگر اختلاف معنی‌دار داشتند که پس از 12 روز انبارمانی تفاوت معنی‌داری در میزان کاهش وزن پوشش‌های مختلف مشاهده گردید.

جیانگ (2013) با پوشش دادن قارچ، کاهش وزن برای نمونه‌ها را در طی 16 روز نگهداری مشاهده کرد و به این نتیجه رسید که کاهش وزن در طول ذخیره سازی زیر 3 درصد بود و حداکثر کاهش وزن از 2/71 درصد برای نمونه حاوی 100 درصد $CO_2$ پس از 16 روز نگهداری ثبت شد. حداقل کاهش وزن، 1/7 درصد پس از 16 روز ذخیره‌سازی در نمونه حاوی پوشش آلژینات ( 3%) + 100 درصد $O_2$ ثبت گردید.

$$\text{Weight loss} = -0.089552 + 0.62567*A - 0.46479*B + 2.90213*C - 0.082083*A*B - 0.055990*A*C - 0.044010*B*C - 0.28367*A^2 + 0.28965*B^2 - 0.084537*C^2 \quad (7)$$

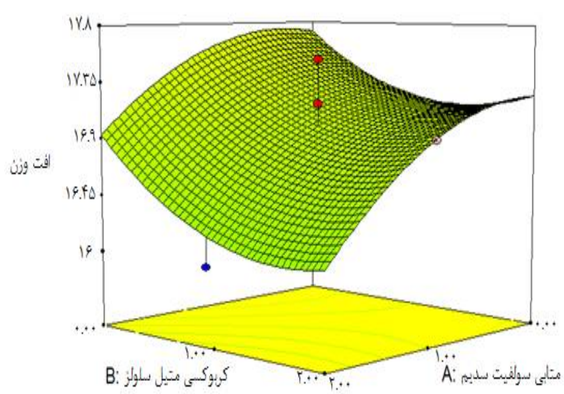
### مواد جامد محلول

هنگامی که محتوای مواد جامد محلول در روز آغاز نگهداری نسبت به روز پایانی دوره نگهداری مقایسه شد، همه قارچ‌ها یک افزایش بریکس را نشان دادند که البته این افزایش در تیمارهای مختلف قدری متفاوت بود. دلیل این افزایش تدریجی بریکس، کاهش تدریجی مقدار آب موجود در قارچ است که با گذشت زمان و طی دوره نگهداری اتفاق می‌افتد و باعث می‌شود مواد جامد محلول آن در میزان آب کمتری قرار داشته باشند در نتیجه بریکس غلظت بیشتری پیدا می‌کند (قربانی و همکاران، 1395). نتایج تجزیه واریانس مدل سطح پاسخ برای میزان بریکس در جدول 2 ارائه شده است. در این جدول مقدار P محاسبه شده برای مدل کمتر از 0/0001 بود که نشان‌دهنده معنی‌داری مدل است. ضریب تبیین $R^2$ (0/9487) و ضریب تبیین تعیین شده $R^2_{adj}$ (0/9026) تایید می‌کند که مدل معنی‌دار است. همانطور که در شکل 1 مشاهده می‌گردد در نمونه‌ی پوشش داده شده با غلظت 2 درصد دو تیمار کربوکسی متیل‌سلولز و متابی سولفیت سدیم داری حداکثر مقدار مواد جامد محلول بعد از 16 روز نگهداری در دمای 4 درجه سانتی‌گراد بود. بعداز آن نمونه شاهد دارای بیشترین مقدار مواد جامد محلول بعداز 16 روز نگهداری در دمای 4 درجه سانتی‌گراد بود. کمترین میزان مواد جامد محلول در نمونه پوشش داده شده با 2درصد کربوکسی متیل سلولز در 16روز نگهداری در دمای 4درجه سانتی‌گراد مشاهده شد.

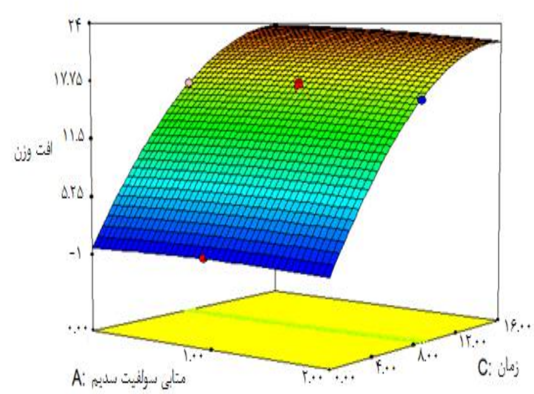
جدول **2**- نتایج تجزیه آنالیز واریانس میزان افت وزن در قارچ دکمه‌ای

| منبع | درجه آزادی (df) | مجموع مربعات (SS) | میانگین مربعات (MS) | F | P P>F |
|---|---|---|---|---|---|
| مدل | 9 | 1479/14 | 166/35 | 1044/20 | <0/0001 |
| A | 1 | 2/22 | 2/22 | 13/96 | 0/0039 |
| B | 1 | 1/02 | 1/02 | 6/41 | 0/0297 |
| C | 1 | 1344/75 | 1344/75 | 8441/18 | <0/0001 |
| AB | 1 | 0/054 | 0/054 | 0/34 | 0/5737 |
| AC | 1 | 1/61 | 1/61 | 10/08 | 0/0099 |
| BC | 1 | 0/99 | 0/99 | 6/23 | 0/0317 |
| $A^2$ | 1 | 0/22 | 0/22 | 1/39 | 0/2658 |
| $B^2$ | 1 | 0/23 | 0/23 | 1/45 | 0/2565 |
| $C^2$ | 1 | 80/50 | 80/50 | 505/30 | <0/0001 |

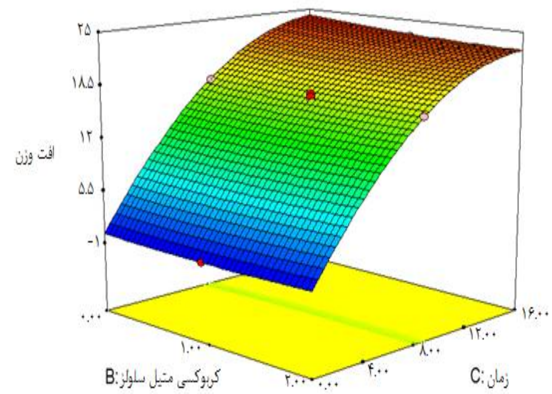
$R^2_{adj}$ =0/9980 , $R^2$ =0/9989, C.V% =2/79




شکل **4**- تاثیر کربوکسی متیل سلولز و متابی سولفیت سدیم بر محتوای افت وزن قارچ دکمه‌ای




شکل **5**- تاثیر متابی سولفیت سدیم در طول دوره نگهداری بر محتوای افت وزن قارچ دکمه‌ای




**شکل 6- تاثیر کربوکسی متیل سلولز در طول دوره نگهداری بر محتوای افت وزنی قارچ دکمه‌ای**

طبق تحقیقی که توسط ایسا درسال2007 انجام شد، اسیدیته کل و مواد جامد محلول در قارچ پوشش داده شده با کیتوزان بالاترین مقدار را نسبت به نمونه شاهد داشت و با افزایش مقدار کیتوزان منجر به افزایش در مواد جامد محلول و اسیدیته کل و نسبت مواد جامد محلول به کل اسیدیته شد. جیانگ و همکاران (2012) میزان مواد جامد محلول را در قارچ پوشش داده شده با کمپلکس کیتوزان-گلوکز ذخیره شده تحت شرایط سرد مورد بررسی قرار دادند. میزان مواد جامد محلول در قارچ شاهد پس از 4 روز ذخیره سازی افزایش یافت. درحالی که در قارچ پوشش داده‌شده در یک دوره مشابه افزایش کمی داشت. پایین‌ترین سطح میزان مواد جامد محلول در قارچ پوشش داده شده با کیتوزان در پایان دوره ذخیره‌سازی ثبت شد.

$$Brix = 4.56235 - 0.21436*A - 0.25724*B \; 0.13595*C + 0.090000*A*B + 5.52083E-003*A*C + 1.04167E-003*B*C - 0.15988*A^2 + 0.084621*B^2 - 2.76634E-003*C^2 \quad (8)$$

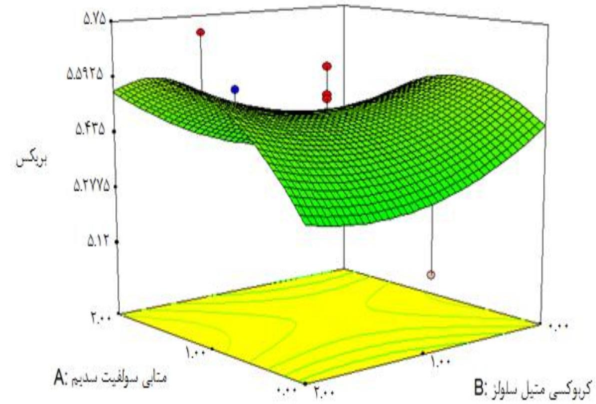
## میزان قهوه‌ای شدن

با گذشت زمان رنگ سطح کلاهک قارچ دکمه‌ای از سفید به قهوه‌ای تغییر می‌کند که دلیل آن افزایش جمعیت میکروارگانیسم‌ها، فعالیت آنزیم‌ها و ایجاد لکه‌های قهوه‌ای روی سطح کلاهک قارچ است (سیاهرودی و همکاران، 1394؛ صبوری شکفته و همکاران، 1393). نتایج تجزیه واریانس مدل سطح پاسخ برای میزان قهوه‌ای شدن در جدول 2 ارائه شده است. در این جدول مقدار P محاسبه شده برای مدل کمتر از 0/0001 بود که نشان‌دهنده معنی‌داری مدل است. ضریب تبیین $R^2$ (0/9594) و ضریب تبیین تعیین شده $R^2_{adj}$ (0/9228) تایید می‌کند که مدل معنی‌دار است.

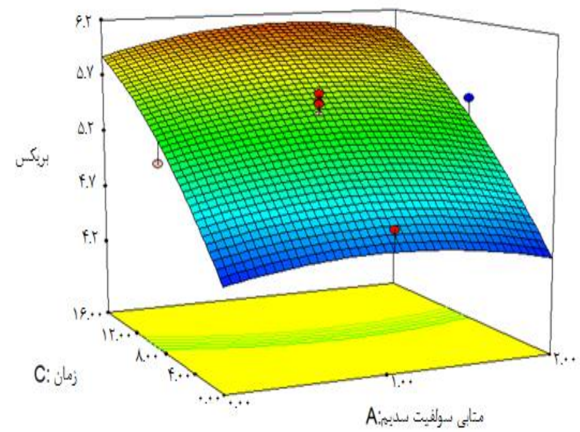
**جدول 3- نتایج تجزیه آنالیز واریانس میزان مواد جامد محلول در قارچ دکمه‌ای**

| منبع | درجه آزادی (df) | مجموع مربعات (SS) | میانگین مربعات (MS) | F | P P>F |
|---|---|---|---|---|---|
| مدل | 9 | 6/59 | 0/73 | 20/57 | <0/0001 |
| A | 1 | 8/275E-003 | 8/275E-003 | 0/23 | 0/6400 |
| B | 1 | 1/068E-003 | 1/068E-003 | 0/030 | 0/8659 |
| C | 1 | 6/18 | 6/18 | 173/60 | <0/0001 |
| AB | 1 | 0/065 | 0/065 | 1/82 | 0/2070 |
| AC | 1 | 0/016 | 0/016 | 0/44 | 0/5228 |
| BC | 1 | 5/556E-004 | 5/556E-004 | 0/016 | 0/9030 |
| $A^2$ | 1 | 0/070 | 0/070 | 1/98 | 0/1902 |
| $B^2$ | 1 | 0/020 | 0/020 | 0/55 | 0/4741 |
| $C^2$ | 1 | 0/086 | 0/086 | 2/42 | 0/1507 |

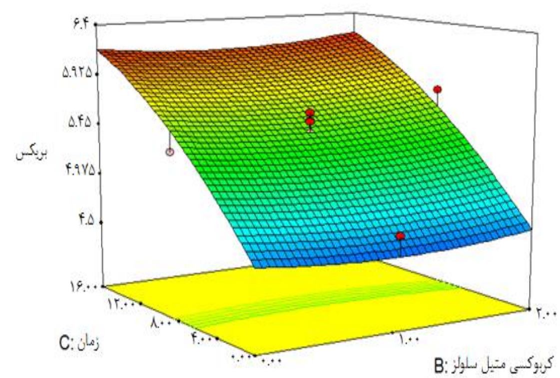
$R^2_{adj}$ =**0/9026** , $R^2$ = **0/9487** , C.V% = **3/51**




**شکل 7-** تاثیر کربوکسی متیل سلولز و متابی سولفیت سدیم بر محتوای مواد جامد محلول قارچ دکمه‌ای




**شکل 8-** تاثیر متابی سولفیت سدیم در طول دوره نگهداری بر محتوای مواد جامد محلول قارچ دکمه‌ای




**شکل 9-** تاثیر کربوکسی متیل سلولز در طول دوره نگهداری بر محتوای مواد جامد محلول قارچ دکمه‌ای

همانطور که در شکل 1 مشاهده می‌گردد نمونه پوشش داده شده با غلظت 2درصد متابی سولفیت سدیم و بعداز آن نمونه شاهد بعداز 16 روز نگهداری در دمای 4 درجه سانتی‌گراد دارای بیشترین مقدار قهوه‌ای شدن بودند. نمونه پوشش داده شده با 2 درصد کربوکسی متیل سلولز و نمونه پوشش داده شده با غلظت 2 درصد دو ترکیب کربوکسی متیل سلولز و متابی سولفیت سدیم بعداز 16 روز نگهداری در دمای 4 درجه سانتی‌گراد دارای کمترین میزان قهوه‌ای شدن بودند. طبق تحقیق لین و همکاران (2017) انجام دادند در طول 4 روز اول قارچ تیمار شده با $CO_2$بالا مقدار BI بالاتری نسبت به شاهد داشت و BI با زمان درمان متناسب بود و آسیب به کیفیت قارچ را از درمان به $CO_2$ بالا نشان داد پس از 12 روز ذخیره‌سازی قارچ تیمار شده با 12 تا 24 ساعت $CO_2$ مقدار BI کمتری را نشان داد. بعد از 16روز ذخیره‌سازی BI در قارچ شاهد به 35/17 رسید درحالی که BI در قارچ تیمار شده با 12 تا 24 ساعت $CO_2$ به ترتیب 30/21 و 32/85 رسید BI در قارچ تیمار شده با 48 ساعت $CO_2$ مقدار بالاتری از قارچ شاهد در طول ذخیره سازی داشت.

$$BI = 19.27574+ 4.45352*A– 13.89679*B– 0.65637*C– 2.54935 *A*B– 0.046143*A*C+ 0.27507*B*C+ 1.09119*A^2 + 3.09124*B^2+ 0.082548*C^2 \quad (9)$$

**جدول 4- نتایج تجزیه آنالیز واریانس میزان قهوه‌ای شدن در قارچ دکمه‌ای**

| منبع | درجه آزادی (df) | مجموع مربعات (SS) | میانگین مربعات (MS) | F | P P>F |
|---|---|---|---|---|---|
| مدل | 9 | 1736/99 | 193/00 | 26/22 | <0/0001 |
| A | 1 | 138/19 | 138/19 | 18/78 | 0/0015 |
| B | 1 | 650/14 | 650/14 | 88/34 | <0/0001 |
| C | 1 | 510/73 | 510/73 | 69/40 | <0/0001 |
| AB | 1 | 51/99 | 51/99 | 7/06 | 0/0240 |
| AC | 1 | 1/09 | 1/09 | 0/15 | 0/7084 |
| BC | 1 | 38/74 | 38/74 | 5/26 | 0/0447 |
| $A^2$ | 1 | 3/27 | 3/27 | 0/44 | 0/5199 |
| $B^2$ | 1 | 26/28 | 26/28 | 3/57 | 0/0881 |
| $C^2$ | 1 | 76/75 | 76/75 | 10/43 | 0/0090 |

, $R^2_{adj}$ =0/9228 ,$R^2$ = 0/9594 C.V% = 15/02

### آزمایشات ارگانولپتیکی

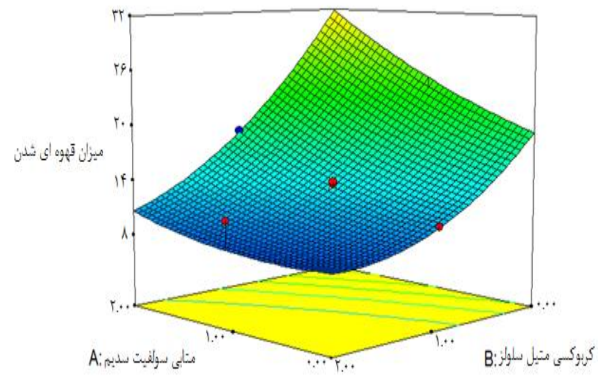
#### رنگ

نتایج تجزیه واریانس مدل سطح پاسخ برای میزان L در جدول 2 ارائه شده است. در این جدول مقدار P محاسبه شده برای مدل 0/0001 بود که نشان دهنده معنی‌داری مدل است. ضریب تبیین $R^2$ (0/9295) و ضریب تبیین تعیین شده $R^2_{adj}$ (0/8661) تایید می‌کند که مدل بسیار معنی‌دار است. همانطور که در شکل 1 مشاهده می‌گردد نمونه پوشش داده شده با 2 درصد متابی سولفیت سدیم و نمونه شاهد دارای کمترین مقدار روشنایی بعداز 16 روز نگهداری در دمای 4 درجه سانتی‌گراد بودند. نمونه پوشش داده شده با غلظت 2 درصد دو ترکیب کربوکسی متیل سلولز و متابی سولفیت سدیم بعداز 16 روز نگهداری در دمای 4 درجه سانتیگراد دارای کاهش کمتری در مقدار روشنایی بود.

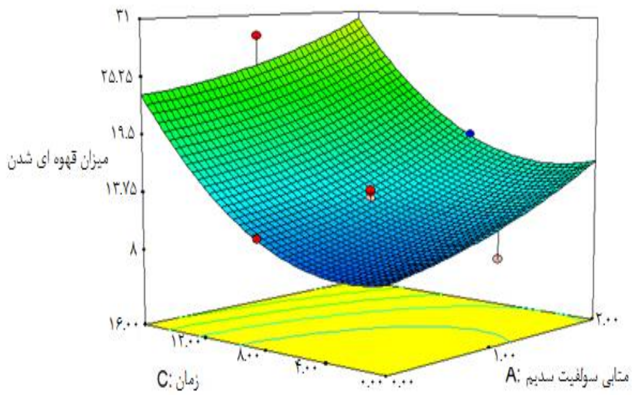
$$L = 70.96369+3.44565*A+ 3.63015*B+ 0.23652*C+ 0.28770*A*B– 0.23057*A*C+ 0.21338*B*C+ 0.28012*A^2– 0.79550*B^2- 0.058768*C^2 \quad (10)$$

با گذشت زمان شاخص a برای همه تیمارها افزایش یافت این افزایش ممکن است به دلیل افزایش در سرعت تنفس و تحریک فعالیت‌های آنزیمی شامل واکنش‌های قهوه‌ای شدن و سایر واکنش‌های مسئول کاهش کیفیت محصول باشد (سیاهرودی و همکاران، 1394). نتایج تجزیه واریانس مدل سطح پاسخ برای میزان a در جدول 2 ارائه شده است. در این جدول مقدار P محاسبه شده برای مدل کمتر از 0/0001 بود که نشان دهنده معنی‌داری مدل است. ضریب تبیین $R^2$ (0/9536) و ضریب تبیین تعیین شده $R^2_{adj}$ (0/9119) تایید می‌کند که مدل بسیار معنی‌دار است. همانطور که در شکل1 مشاهده می‌گردد نمونه پوشش داده شده با 2 درصد متابی سولفیت سدیم و نمونه شاهد بعداز 16 روز نگهداری در دمای 4 درجه سانتی‌گراد دارای بیشترین مقدار قرمزی بودند. نمونه پوشش داده شده با غلظت 2 درصدر دو ترکیب کربوکسی متیل سلولز و متابی سولفیت سدیم دارای کمترین مقدار قرمزی بعداز 16 روز نگهداری در دمای 4 درجه سانتی‌گراد بود.

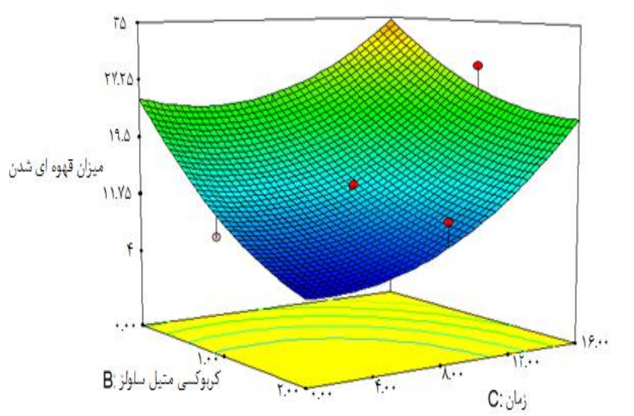
$$A = 5.02639– 1.26743*A+ 0.24827*B+ 00.39845*C +0.096637*A*B+ 0.042610*A*C– 0.030371*B*C+ 1.71400*A^2 – 0.74021*B^2– 0.013259*C^2 \quad (11)$$




شکل **10**-تاثیر کربوکسی متیل سلولز و متابی سولفیت سدیم بر محتوای قهوه‌ای شدن قارچ دکمه‌ای




شکل **11**- تاثیر متابی سولفیت سدیم در طول دوره نگهداری بر محتوای قهوه‌ای شدن قارچ دکمه‌ای

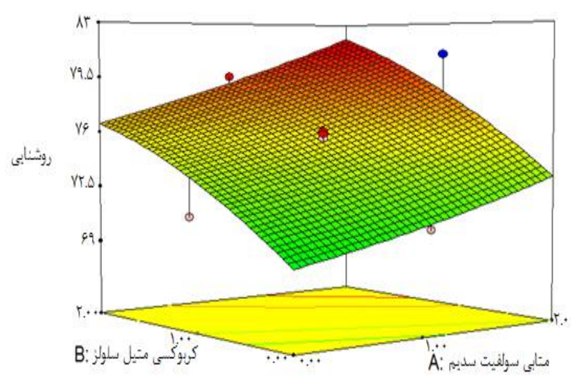



شکل **12**- تاثیر کربوکسی متیل سلولز در طول دوره نگهداری بر محتوای قهوه‌ای شدن قارچ دکمه‌ای

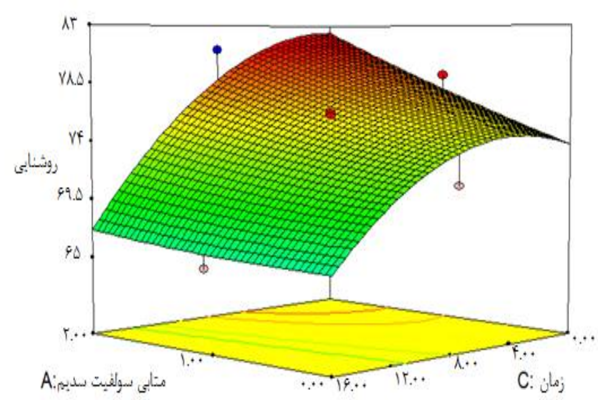
جدول 5- نتایج تجزیه آنالیز واریانس میزان روشنایی در قارچ دکمه‌ای

| منبع | درجه آزادی (df) | مجموع مربعات (SS) | میانگین مربعات (MS) | F | P P>F |
|---|---|---|---|---|---|
| مدل | 9 | 691/14 | 76/79 | 14/65 | 0/0001 |
| A | 1 | 59/98 | 59/98 | 11/44 | 0/0070 |
| B | 1 | 162/72 | 162/72 | 31/05 | 0/0002 |
| C | 1 | 322/67 | 322/67 | 63/47 | <0/0001 |
| AB | 1 | 0/66 | 0/66 | 0/13 | 0/7296 |
| AC | 1 | 27/22 | 27/22 | 5/19 | 0/0459 |
| BC | 1 | 23/31 | 23/31 | 4/45 | 0/0611 |
| $A^2$ | 1 | 0/22 | 0/22 | 0/041 | 0/8432 |
| $B^2$ | 1 | 1/74 | 1/74 | 0/33 | 0/5772 |
| $C^2$ | 1 | 38/90 | 38/90 | 7/42 | 0/0214 |

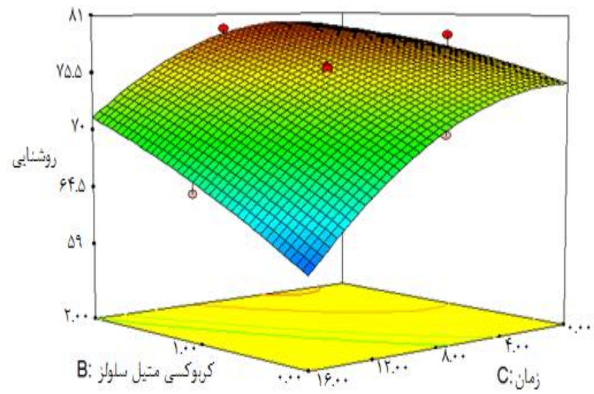
$R^2_{adj}$ =0/8661 , $R^2$ =0/9295 , C.V% =3/11




شکل 13- تاثیر کربوکسی متیل سلولز و متابی سولفیت سدیم بر محتوای روشنایی قارچ دکمه‌ای




شکل 14- تاثیر متابی سولفیت سدیم در طول دوره نگهداری بر محتوای روشنایی قارچ دکمه‌ای

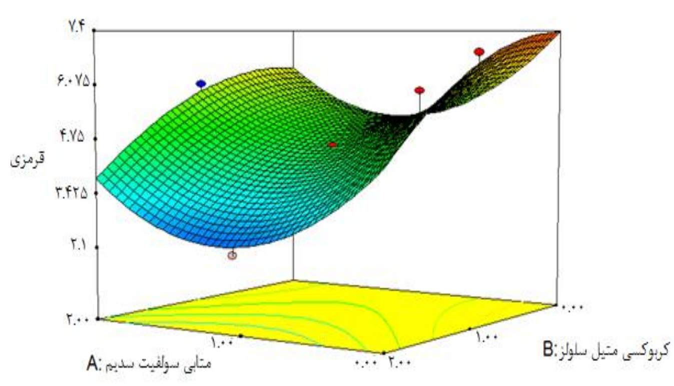



**شکل 15- تاثیر کربوکسی متیل سلولز در طول دوره نگهداری بر محتوای روشنایی قارچ دکمه‌ای**

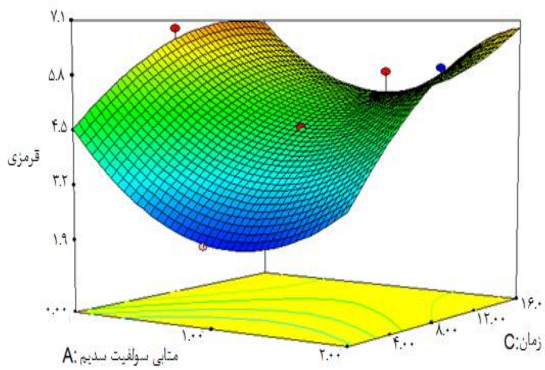
**جدول 6- نتایج تجزیه آنالیز واریانس میزان قرمزی در قارچ دکمه‌ای**

| منبع | درجه آزادی (df) | مجموع مربعات (SS) | میانگین مربعات (MS) | F | P P>F |
|---|---|---|---|---|---|
| مدل | 9 | 55/78 | 6/20 | 22/86 | <0/0001 |
| A | 1 | 1/62 | 1/62 | 5/96 | 0/0348 |
| B | 1 | 19/00 | 19/00 | 70/08 | <0/0001 |
| C | 1 | 25/23 | 25/23 | 93/04 | <0/0001 |
| AB | 1 | 0/075 | 0/075 | 0/28 | 0/6111 |
| AC | 1 | 0/93 | 0/93 | 3/43 | 0/0938 |
| BC | 1 | 0/47 | 0/47 | 1/74 | 0/2163 |
| $A^2$ | 1 | 8/08 | 8/08 | 29/79 | 0/0003 |
| $B^2$ | 1 | 1/51 | 1/51 | 5/56 | 0/0401 |
| $C^2$ | 1 | 1/98 | 1/98 | 7/30 | 0/0222 |

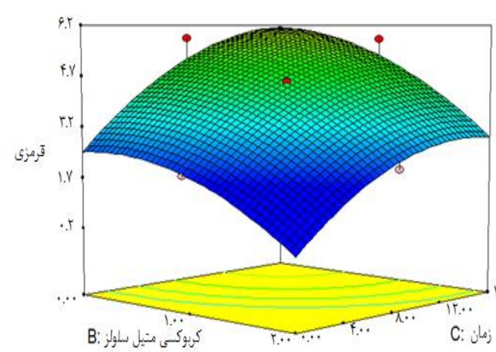
$Adj\text{-}R^2$ = **0/9119**, $R^2$ = **0/9536**, C.V% = **11/38**




**شکل 16- تاثیر کربوکسی متیل سلولز و متابی سولفیت سدیم بر محتوای قرمزی قارچ دکمه‌ای**




**شکل 17-** تاثیر متابی سولفیت سدیم در طول دوره نگهداری بر محتوای قرمزی قارچ دکمه‌ای




**شکل 18-** تاثیر کربوکسی متیل سلولز در طول دوره نگهداری بر محتوای قرمزی قارچ دکمه‌ای

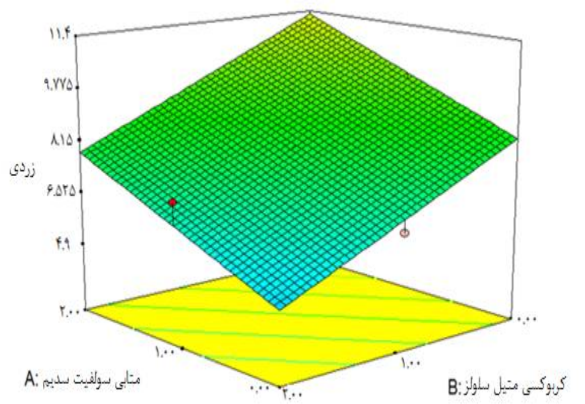
نتایج تجزیه واریانس مدل سطح پاسخ برای میزان b در جدول 2 ارائه شده است. در این جدول مقدار P محاسبه شده برای مدل کمتر از 0/0001 بود که نشان‌دهنده معنی‌داری مدل است. ضریب تبیین $R^2$ (0/7878) و ضریب تبیین تعیین شده $R^2_{adj}$ (0/7481) تایید می‌کند که مدل بسیار معنی‌دار است. همانطور که در شکل 1 مشاهده می‌گردد نمونه پوشش داده شده با 2 درصد متابی سولفیت سدیم و نمونه پوشش داده شده با 1درصد کربوکسی متیل سلولز و متابی سولفیت سدیم و نمونه شاهد دارای بیشترین مقدار زردی بعداز 16 روز نگهداری در دمای 4 درجه سانتی‌گراد بودند. نمونه پوشش داده شده با 2 درصد کربوکسی متیل سلولز دارای کمترین مقدار زردی بعداز 16 روز نگهداری در دمای 4درجه سانتیگراد بود. خضرایی و همکاران (1394) در تحقیقی تاثیر پوشش کیتوزان-اسانس لیمو بر رنگ قارچ دکمه‌ای کامل را بررسی کردند. میزان L نسبت به روز نخست کاهش یافت پارامتر b و a روند افزایشی داشتند بدین معنا که با گذر زمان بر قرمزی و زردی محصول افزوده شد و از سبزی و ابی بودن ان کم گردید.

$$B = 5.38516 + 1.43776*A - 1.74402*B + 0.38023*C \quad (12)$$

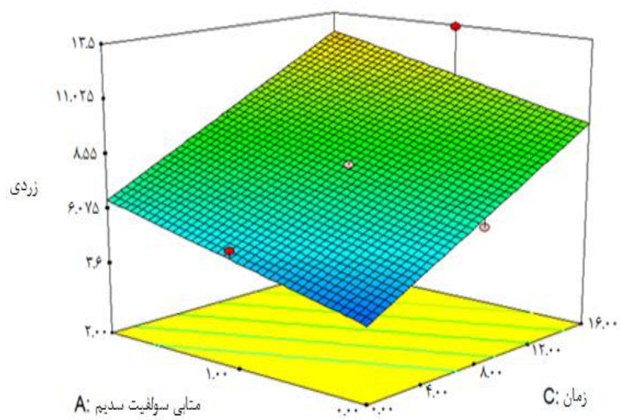
**جدول 7-** نتایج تجزیه آنالیز واریانس میزان زردی در قارچ دکمه‌ای

| منبع | درجه آزادی (df) | مجموع مربعات (SS) | میانگین مربعات (MS) | F | P P>F |
|---|---|---|---|---|---|
| مدل | 3 | 143/62 | 47/87 | 19/81 | <0/0001 |
| A | 1 | 20/67 | 20/67 | 8/55 | 0/0099 |
| B | 1 | 30/42 | 30/42 | 12/58 | 0/0027 |
| C | 1 | 92/53 | 92/53 | 38/28 | <0/0001 |

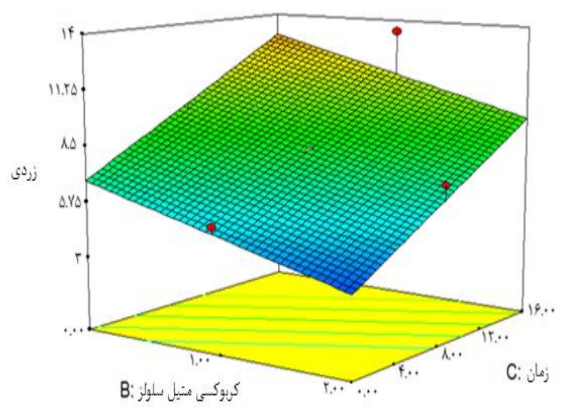
$R^2_{adj}$ =0/7481 , $R^2$=0/7878, C.V% =19/15




**شکل 19-** تاثیر کربوکسی متیل سلولز و متابی سولفیت سدیم بر محتوای زردی قارچ دکمه‌ای




**شکل 20-** تاثیر متابی سولفیت سدیم در طول دوره نگهداری بر محتوای زردی قارچ دکمه‌ای




**شکل 21-** تاثیر کربوکسی متیل سلولز در طول دوره نگهداری بر محتوای زردی قارچ دکمه‌ای

نتایج تجزیه واریانس مدل سطح پاسخ برای میزان $\Delta E$ در جدول 2 ارائه شده است. در این جدول مقدار P محاسبه شده برای مدل کمتر از 0/0001 بود که نشان دهنده معنی‌داری مدل است. ضریب تبیین $R^2$ (0/9562) و ضریب تبیین تعیین شده $R^2_{adj}$ (0/9169) تایید می‌کند که مدل معنی‌دار است. همانطور که در شکل 22 مشاهده می‌گردد نمونه پوشش داده شده با 2درصد متابی سولفیت سدیم و نمونه شاهد دارای بیشترین مقدار تغییرات رنگ بعداز 16 روز نگهداری در دمای 4 درجه سانتی‌گراد بودند. نمونه پوشش داده شده با غلظت2 درصد دو ترکیب کربوکسی متیل سلولز و متابی سولفیت سدیم دارای کمترین تغییرات رنگ بعداز 16 روز نگهداری در دمای 4 درجه سانتی‌گراد بود. صبوری شکفته و همکاران (1393) با استفاده از شستشو با اسید آسکوربیک و پوشش‌دهی با پوشش‌های خوراکی در قارچ دکمه‌ای با بررسی تغییرات کلی رنگ ($\Delta E$) قارچ‌ها در طی 15 روز نگهداری در دمای 4درجه سانتیگراد نشان دادند که تغییرات رنگ در هر 5 روز تغییرات معناداری در سطح (0/05) داشت که این امر به کاهش رطوبت و قهوه‌ای شدن آنزیمی محصول در طی مدت زمان نگهداری مرتبط است. شستشو با محلول اسیدآسکوریک و پوشش‌های خوراکی می‌تواند باعث کاهش معنی‌داری در سطح (0/05) در میزان تغییرات رنگی قارچ در طی 15 روز نگهداری در دمای 4درجه سانتی‌گراد شد. در 5 روز نخست نگهداری میان تمام پوشش‌های خوراکی به‌جز ایزوله پروتئین سویا با نمونه فاقد پوشش اختلاف معنی‌داری در میزان $\Delta E$ قارچ‌ها مشاهده شد که عدم اختلاف میان شاهد و پوشش SPI می تواند ناشی از تیره‌تر بودن رنگ خود پوشش نسبت به پوشش‌های دیگر باشد با گذشت زمان و افزایش فعالیت‌های آنزیمی در نمونه‌ی بدون پوشش‌های دیگری باشد. با گذشت زمان افزایش فعالیت‌های آنزیمی در نمونه بدون پوشش اختلاف میان آن با تیمارهای پوشش داده شده بیشتر شد به‌طوری که در روزهای 10 و 15 نگهداری اختلاف معناداری میان تیمار با پوشش WPC و سایر پوشش‌ها مشاهده شد اما در 15 روز تفاوت معناداری میان این پوشش و پوشش‌های مختلف مشاهده نشد.

$$\Delta E= 28.78771- 8.01114*A- 1.34145*B- 0.12311*C+ 0.21447*A*B+ 0.21473*A*C- 0.13710*B*C+ 1.89861*A^2- 1.11479*B^2+ 0.053830*C^2 \quad (13)$$

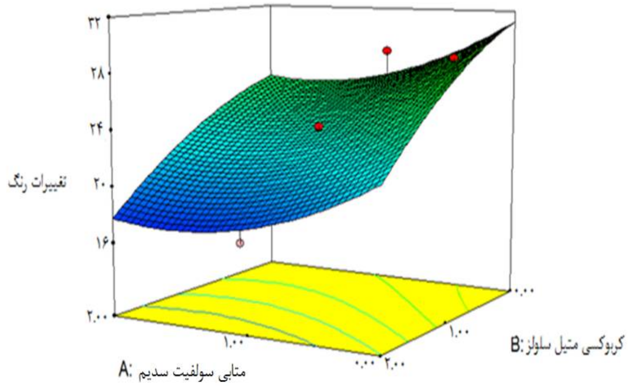
### بافت (سفتی)

طی نگهداری قارچ بافت آن نرم و دچار آسیب دیدگی می‌شود و دلیل کاهش استحکام بافت ممکن است فعالیت آنزیمی و تخریب دیواره سلول‌ها، از بین رفتن بافت پارانشیم و حل شدن پکتین در مایع داخل سلولی باشد (قربانی و همکاران، 1395). نتایج تجزیه واریانس مدل سطح پاسخ برای بافت در جدول 2 ارائه شده است. در این جدول مقدار P محاسبه شده برای مدل کمتر از 0/0001 بود که نشان‌دهنده معنی‌داری مدل است. ضریب تبیین $R^2$ (0/9911) و ضریب تبیین تعیین شده $R^2_{adj}$ (0/9831) تایید می‌کند که مدل بسیار معنی‌دار است.همانطور که در شکل 1 مشاهده می‌گردد نمونه پوشش داده شده با غلظت 2 درصد دو ترکیب کربوکسی متیل سلولز و متابی سولفیت سدیم بعداز 16 روز نگهداری در دمای 4 درجه سانتی‌گراد دارای بیشترین سفتی بود.

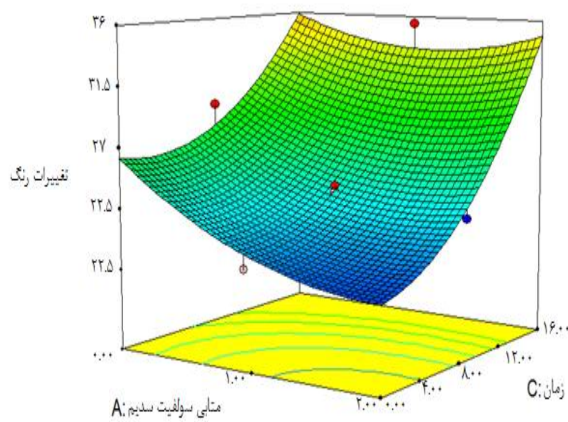
**جدول 8- نتایج تجزیه آنالیز واریانس میزان تغییرات رنگ در قارچ دکمه‌ای**

| منبع | درجه آزادی (df) | مجموع مربعات (SS) | میانگین مربعات (MS) | F | P P>F |
|---|---|---|---|---|---|
| مدل | 9 | 796/99 | 88/55 | 24/28 | <0/0001 |
| A | 1 | 52/06 | 52/06 | 14/27 | 0/0036 |
| B | 1 | 198/32 | 198/32 | 54/37 | <0/0001 |
| C | 1 | 425/93 | 425/93 | 116/78 | <0/0001 |
| AB | 1 | 0/37 | 0/37 | 0/10 | 0/7573 |
| AC | 1 | 23/61 | 23/61 | 6/47 | 0/0292 |
| BC | 1 | 9/62 | 9/62 | 2/62 | 0/1354 |
| $A^2$ | 1 | 9/91 | 9/91 | 2/72 | 0/1302 |
| $B^2$ | 1 | 3/42 | 3/42 | 0/94 | 0/3559 |
| $C^2$ | 1 | 32/64 | 32/64 | 8/95 | 0/0135 |

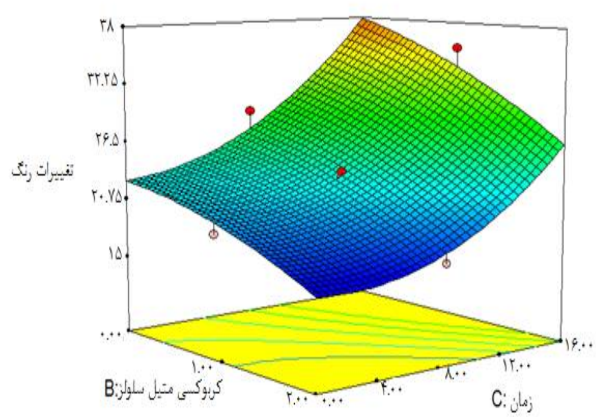
$R^2_{adj}$ =0/9169 ، $R^2$ =0/9562 ، C.V% =7/45




**شکل 22-** تاثیر کربوکسی متیل سلولز و متابی سولفیت سدیم بر محتوای تغییرات رنگ قارچ دکمه‌ای




**شکل 23-** تاثیر متابی سولفیت سدیم در طول دوره نگهداری بر محتوای تغییرات رنگ قارچ دکمه‌ای



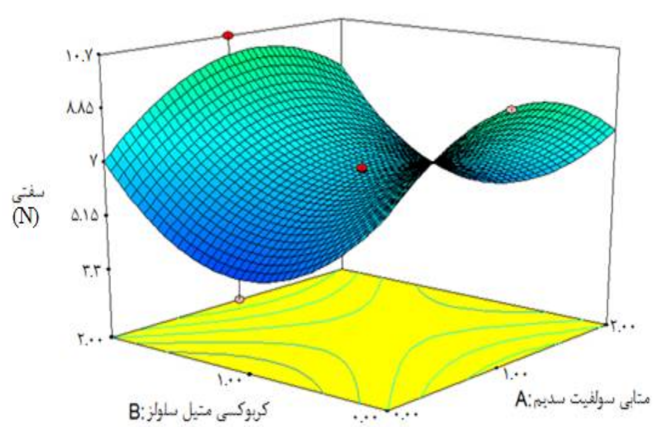

**شکل 24-** تاثیر کربوکسی متیل سلولز در طول دوره نگهداری بر محتوای تغییرات رنگ قارچ دکمه‌ای

جیانگ و همکاران (2013) مشاهده کردند که اختلاط نانو ذرات نقره به آلژینات اثر مثبت و قابل توجهی در استحکام داشت. نرم شدن بافت در نمونه شاهد مشاهده شد اما مهار توسط پوشش آلژینات/نانو نقره با توجه به فعالیت ضدباکتری بالا مشاهده گردید. محمدی و همکاران (1392) اثر پوشش‌دهی قارچ دکمه‌ای با صمغ عربی را بر بافت آن مورد بررسی قرار دادند. سفتی بافت با افزایش غلظت صمغ نیز افزایش یافت به طوری که غلظت صفر و دو درصد دارای کمترین و بیشترین سفتی بودند با گذشت زمان سفتی کاهش یافت.

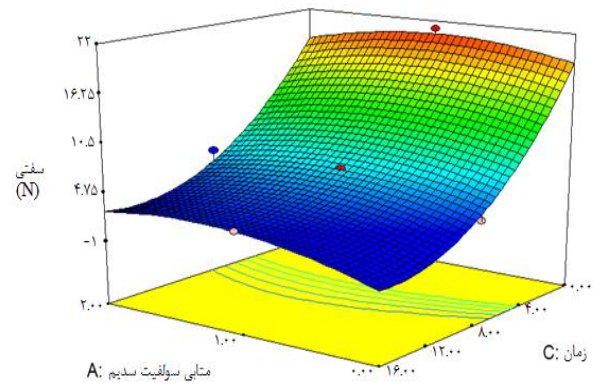
$$Hardness = 22.01202+ 3.64365*A- 6.54968*B- 2.50617*C+ 0.25375*A*B+ 0.097344*A*C+ 0.056094*B*C- 2.00641*A^2+ 3.06026*B^2+ 0.079379*C^2 \quad (14)$$

**جدول 9- نتایج تجزیه آنالیز واریانس میزان سفتی در قارچ دکمه‌ای**

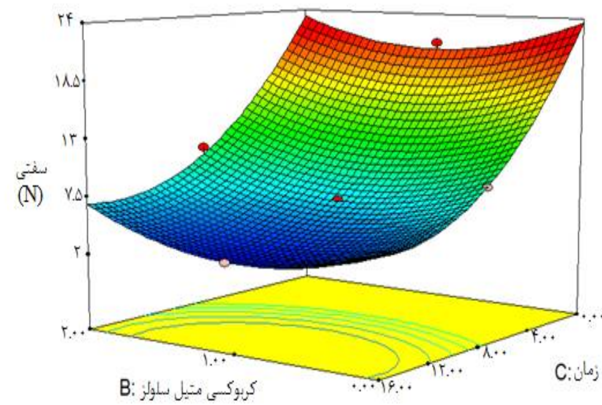
| منبع | درجه آزادی (df) | مجموع مربعات (SS) | میانگین مربعات (MS) | F | P P>F |
|---|---|---|---|---|---|
| مدل | 9 | 953/59 | 105/95 | 123/59 | <0/0001 |
| A | 1 | 4/40 | 4/40 | 5/13 | 0/0469 |
| B | 1 | 0/75 | 0/75 | 0/87 | 0/3725 |
| C | 1 | 750/19 | 750/19 | 875/02 | <0/0001 |
| AB | 1 | 0/52 | 0/52 | 0/60 | 0/4562 |
| AC | 1 | 4/85 | 4/85 | 5/66 | 0/0387 |
| BC | 1 | 1/61 | 1/61 | 1/88 | 0/2004 |
| $A^2$ | 1 | 11/07 | 11/07 | 12/91 | 0/0049 |
| $B^2$ | 1 | 25/75 | 25/75 | 30/04 | 0/0003 |
| $C^2$ | 1 | 70/97 | 70/97 | 82/79 | <0/0001 |
| $R^2_{adj}$ =0/9831 | | $R^2$ = 0/9911 | | C.V% =9/51 | |




**شکل 25- تاثیر کربوکسی متیل سلولز و متابی سولفیت سدیم بر سفتی قارچ دکمه‌ای**




**شکل 26- تاثیر متابی سولفیت سدیم در طول دوره نگهداری بر سفتی قارچ دکمه‌ای**




**شکل 27- تاثیر کربوکسی متیل سلولز در طول دوره نگهداری بر سفتی قارچ دکمه‌ای**

## آزمایشات میکروبی

### شمارش کلی میکروارگانیسم‌ها

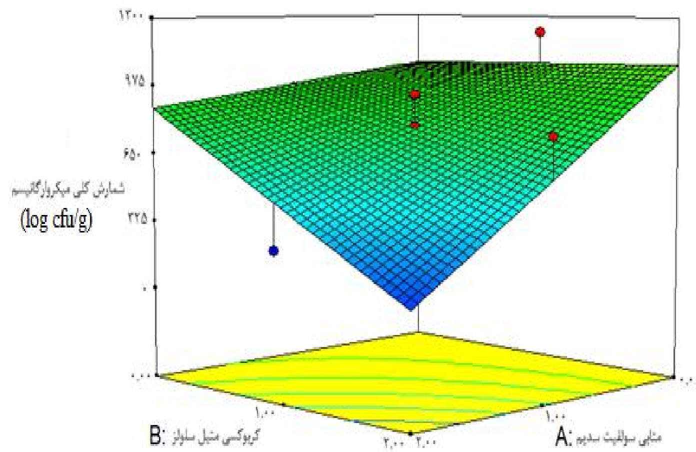
نتایج تجزیه واریانس مدل سطح پاسخ برای شمارش کلی میکروارگانیسم‌ها در جدول 2 ارائه شده است. در این جدول مقدار P محاسبه شده برای مدل کمتر از 0/0001 بود که نشان‌دهنده معنی‌داری مدل است. ضریب تبیین $R^2$ (0/9278) و ضریب تبیین تعیین شده $R^2_{adj}$ (0/8945) تایید می‌کند که مدل معنی‌دار است. همانطور که در شکل 28 مشاهده می‌گردد نمونه شاهد دارای بیشترین مقدار باکتری کل بعداز 16 روز نگهداری در دمای 4 درجه سانتی‌گراد بود. نمونه پوشش داده شده با غلظت 2 درصد دو ترکیب کربوکسی متیل سلولز و متابی سولفیت سدیم دارای کمترین مقدار باکتری کل بعداز 16 روز نگهداری در دمای 4 درجه سانتی‌گراد بود. درویشی و همکاران (1394) تاثیر آلوئه‌ورا را به‌عنوان یک نگهدارنده طبیعی بر ویژگی‌های میکروبی قارچ دکمه‌ای بررسی کردند نتایج حاصل از شمارش کلنی‌ها در طول دوره نشان داد که نمونه‌های تحت تیمار به‌وسیله آلوئه‌ورا، دارای بارمیکروبی کمتری نسبت به گروه شاهد بودند کشت انجام شده در روز دوم و چهارم حاکی از وجود بار میکروبی کمتر در قارچ‌های غوطه‌ور شده در محلول حاوی آلوئه‌ورا بود اما اختلاف میان گروه تیمار شده و گروه شاهد بسیارجزئی بود در طی روزهای ششم و هشتم اختلاف میان دو گروه رفته رفته بیشتر شد و در کشت روز دهم این اختلاف به صورت معنی‌داری بروز کرد.

$$\text{Total count} = 29.50833 + 107.23333*A + 191.96667*B + 127.91042*C - 199.37500*A*B - 24.95313*A*C - 22.49479*B*C \quad (15)$$

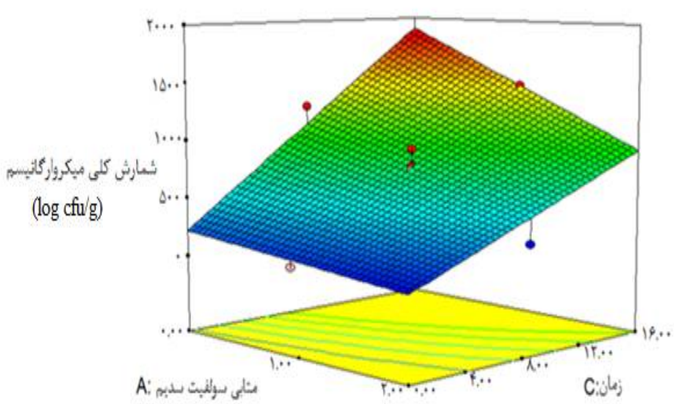
جدول **10**- نتایج تجزیه آنالیز واریانس شمارش کلی میکروارگانیسم‌ها در قارچ دکمه‌ای

| منبع | درجه آزادی (df) | مجموع مربعات (SS) | میانگین مربعات (MS) | F | P P>F |
|---|---|---|---|---|---|
| مدل | 6 | 6/242E+006 | 1/040E+006 | 27/85 | <0/0001 |
| A | 1 | 8/513E+005 | 8/513E+005 | 22/79 | 0/0004 |
| B | 1 | 3/511E+005 | 3/511E+005 | 9/40 | 0/0090 |
| C | 1 | 4/143E+006 | 4/143E+006 | 110/91 | <0/0001 |
| AB | 1 | 3/180E+005 | 3/180E+005 | 8/51 | 0/0120 |
| AC | 1 | 3/188E+005 | 3/188E+005 | 8/53 | 0/0119 |
| BC | 1 | 2/591E+005 | 2/591E+005 | 6/93 | 0/0207 |

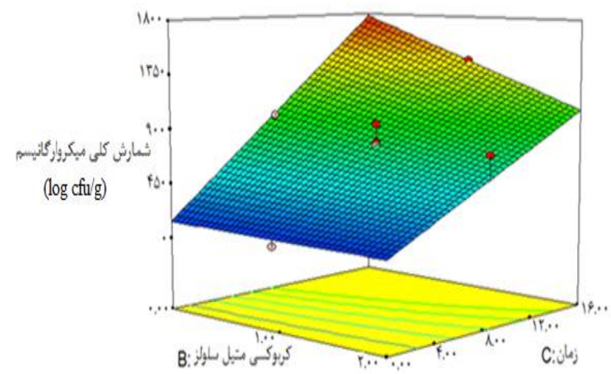
C.V% = **25/00** ,$R^2$ =**0/9278** , $R^2_{adj}$ =0/**894**5




شکل **28**- تاثیر کربوکسی‌متیل سلولز و متابی سولفیت سدیم بر شمارش کلی میکروارگانیسم‌ها قارچ دکمه‌ای




شکل **29**- تاثیر متابی سولفیت سدیم در طول دوره نگهداری بر شمارش کلی میکروارگانیسم‌ها قارچ دکمه‌ای




**شکل 30- تاثیر کربوکسی‌متیل سلولز در طول دوره نگهداری بر شمارش کلی میکروارگانیسم‌ها قارچ دکمه‌ای**

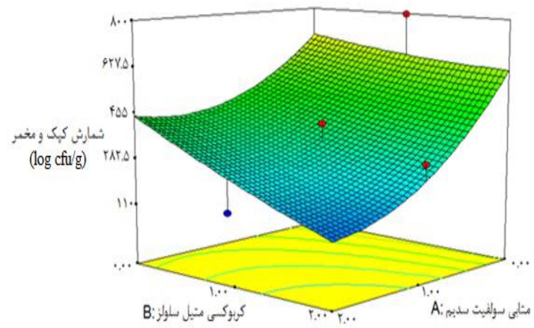
### شمارش کپک و مخمر

نتایج تجزیه واریانس مدل سطح پاسخ برای شمارش کپک و مخمر در جدول 2 ارائه شده است. در این جدول مقدار P محاسبه شده برای مدل 0/0003 بود که نشان‌دهنده معنی‌داری مدل است. ضریب تبیین $R^2$ (0/9155) و ضریب تبیین تعیین شده $R^2_{adj}$ (0/8394) تایید می‌کند که مدل معنی‌دار است. همانطور که در شکل 31 مشاهده می‌گردد نمونه شاهد دارای بیشترین مقدار کپک و مخمر بعداز 16 روز نگهداری در دمای 4 درجه سانتی‌گراد بود. نمونه پوشش داده شده با غلظت2 درصد دو ترکیب کربوکسی متیل سلولز و متابی سولفیت سدیم دارای کمترین مقدار کپک و مخمر بعداز 16 روز نگهداری در دمای 4 درجه سانتی‌گراد بود. در تحقیقی جیانگ و همکاران (2013) پاسخ فیزیکوشیمیایی و ویژگی‌های میکروبی اندام قارچ را به پوشش صمغ عربی با ناتامایسین (GANA) و پوشش ناتامایسین (NA) در کاهش مخمرها و تعداد کپک‌ها نسبت به نمونه GA (صمغ عربی) و شاهد موثرتر دانستند. پوشش GANA و NA میزان کپک و مخمرها را در مدت 8 روز به زیر تشخیص محدودیت (10 CFu/g) کاهش دادند و بهبودی در نقاط زمان بعد مشاهده شد در قارچ شاهد لکه‌های کوچک قهوه‌ای در روز 4 نمایش داده شد و این لکه‌ها تا روز 8 به مناطق تاریک توسعه یافت که مشخصه سودوموناس بود در نمونه GANA حتی در روز 12 این ویژگی‌های تجزیه میکروبی نمایان نشد.

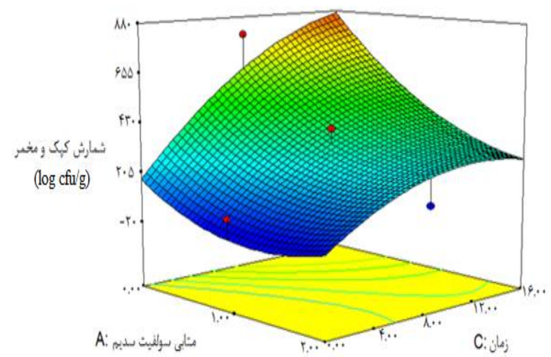
$$Yeast = 145.64773 - 230.98030*A + 15.73636*B + 82.42121*C - 60.79167*A*B - 14.14063*A*C - 10.58854*B*C + 110.34848*A^2 + 13.68182*B^2 - 1.77320*C^2 \quad (16)$$

**جدول 11- نتایج تجزیه آنالیز واریانس شمارش کپک و مخمر در قارچ دکمه‌ای**

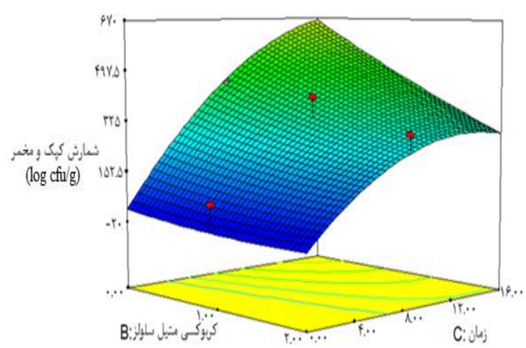
| منبع | درجه آزادی (df) | مجموع مربعات (SS) | میانگین مربعات (MS) | F | P P>F |
|---|---|---|---|---|---|
| مدل | 9 | 1/235E+006 | 1/372E+005 | 12/04 | 0/0003 |
| A | 1 | 3/393E+005 | 3/393E+005 | 29/77 | 0/0003 |
| B | 1 | 1/049E+005 | 1/049E+005 | 9/20 | 0/0126 |
| C | 1 | 5/502E+005 | 5/502E+005 | 48/28 | <0/0001 |
| AB | 1 | 29565/01 | 29565/01 | 2/59 | 0/1383 |
| AC | 1 | 1/024E+005 | 1/024E+005 | 8/98 | 0/0134 |
| BC | 1 | 57404/01 | 57404/01 | 5/04 | 0/0486 |
| $A^2$ | 1 | 33486/17 | 33486/17 | 2/94 | 0/1173 |
| $B^2$ | 1 | 514/78 | 514/78 | 0/045 | 0/8360 |
| $C^2$ | 1 | 35416/73 | 35416/73 | 3/11 | 0/1084 |
| Adj-$R^2$ =0/8394, | | $R^2$ =0/9155, | | C.V% =30/77 | |




**شکل 31- تاثیر کربوکسی متیل سلولز و متابی سولفیت سدیم بر شمارش کپک ومخمر قارچ دکمه‌ای**




**شکل 32- تاثیر متابی سولفیت سدیم در طول دوره نگهداری بر شمارش کپک و مخمر قارچ دکمه‌ای**




**شکل 33- تاثیر کربوکسی متیل سلولز در طول دوره نگهداری بر شمارش کپک و مخمر قارچ دکمه‌ای**

## نتیجه گیری

به دلیل فسادپذیری و قهوه‌ای شدن قارچ دکمه‌ای، نگهداری آن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. یکی از روش‌های نگهداری قارچ دکمه‌ای پوشش‌دهی به‌وسیله پوشش‌های خوراکی می‌باشد. کربوکسی متیل سلولز و متابی سولفیت سدیم دو ترکیب پیشنهادی جهت پوشش‌دهی در این تحقیق مورد ارزیابی قرار گرفت. با توجه به نتایج بدست آمده نمونه پوشش داده شده با غلظت 2 درصد دو ترکیب کربوکسی متیل سلولز و متابی سولفیت سدیم اثرات مثبتی بر خصوصیات ارگانولپتیکی و شیمیایی و میکروبی داشت و استفاده از این پوشش برای افزایش ماندگاری قارچ توصیه می‌شود.

## منابع


پاسبان، آ. محبی، م. پورآزنگ، ه. وریدی، م. 1392. مطالعه اثر اسیدسیتریک، اسیدآسکوربیک و سدیم‌متابی‌سولفیت بر رنگ و خصوصیات کف‌زایی پوره‌ی قارچ‌دکمه‌ای *(Agaricus Bisporus)*، نشریه پژوهش‌های علوم و صنایع‌غذایی ایران، جلد 9، شماره 2، ص 146-138.

خضرایی، م. جهادی، م. فاضل، م. علامه، آ. 1394. بررسی تأثیر پوشش کیتوزان-اسانس‌لیمو بر ماندگاری قارچ‌دکمه‌ای (*آگاریکوس بیسپوروس)* کامل، مجله علوم غذایی وتغذیه، دوره 13، شماره 1، صفحه 46-35.

درویشی، ا. فضل‌آرا، ع. اصلاحی، م. 1394. تأثیر آلوئه ورا بعنوان یک نگهدارنده طبیعی بر ویژگی‌های میکروبی قارچ دکمه‌ای، نشریه‌ی نوآوری در علوم و فنّاوری غذایی، دوره7، شماره 1، صفحه 95-85.

زاهدی, ی. صداقت، ن. 1390. افزایش ماندگاری قارچ دکمه‌ای(*Agaricus bisporus*) از طریق شستشوی اسیدی و پوشش‌دهی با بیوپلیمرها، بیستمین کنگره ملی علوم و صنایع‌غذایی، تهران، دانشگاه صنعتی شریف.

سیاهرودی، س. آریایی، پ. فتاحی، ا. 1394. اثر پوشش ژل‌آلوئه‌ورا به همراه عصاره گزنه بر روی عمر نگهداری قارچ‌خوراکی دکمه‌ای در شرایط سرد، کنفرانس ملی دستاوردهای فن آورانه علوم و صنایع‌غذایی ایران، دوره 1.

صبوری شکفته، م. احمدزاده قویدل، ر. قیافه داوودی، م. (1393). افزایش ماندگاری قارچ دکمه ای خوراکی با استفاده از شستشوی با اسید اسکوربیک و پوشش دهی با پوششهای خوراکی، سومین همایش ملی علوم و صنایع غذایی.

قربانی، آ. مقصودلو، ی. اعلمی، م. قربانی، م. صادقی، ع. 1395. بررسی تأثیر پوشش‌خوراکی موسیلاژ دانه شاهی بر ماندگاری قارچ‌دکمه‌ای، فصلنامه فناوری‌های نوین‌غذایی، سال سوم، شماره 12، صفحه 96-89.

قنبرزاده، ب. سینجلی، س. قیاسی فر، ش. 1390. بررسی اثرات ضد قارچی پوشش های خوراکی بر پایۀ کربوکسی متیل سلولز حاوی سوربات پتاسیم بر گونه های تولید کننده آفلاتوکسین آسپرژیلوس در پسته. فصلنامه علوم و صنایع غذایی، شماره (2)32،دوره 8، ص50-43.

محمد حسینیان، م. صداقت، ن. 1394. بررسی اثر پوشش های خوراکی (کیتوزان و متابی سولفیت سدیم) و بسته‌بندی با اتمسفر اصلاح شده بر میزان ویتامین ث و راندمان سرخ کردن سیب زمینی برش خورده تازه، اولین کنفرانس ملی دستاوردهای فن آورانه علوم و صنایع غذایی ایران، ص234-230.

محمدی، ش. قنبرزاده، ب. صوتی، م. قیاسی فر، ش. جلالی، س. 1391. کاربرد پوشش های فعال خوراکی بر پایه کربوکسی متیل سلولز حاوی اسید اولئیک و ترکیبات ضد میکروبی برای بهبود کیفیت و افزایش ماندگاری تخم مرغ، نشریه پژوهش های علوم وصنایع غذایی، جلد 8، شماره 2، ص244-235.

محمدی، م. فتاحی، س. صیدی، م. میرزایی، م. ساجدی نیا. 1392. اثر پوشش دهی با صمغ عربی بر خصوصیات کیفی و ارگانولپتیکی قارچ دکمه ای (Agaricus bisporus L.)، اولین همایش ملی الکترونیکی" مباحث نوین در علوم باغبانی"، ص 204-199.

Eissa, H.A. (2007). Effect of chitosan coating on shelf life and quality of fresh-cut mushroom. *J. Food Qual*., 623-30:645.

Jiang, N., Liu, C., Li, D., Zhou, Y. (2015). Effect of blanching on the dielectric properties and microwave vacuum drying behavior of Agaricus bisporus slices. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*.

Jiang, T. (2013). Effect of alginate coating on physicochemical and sensory qualities of button mushrooms (*Agaricus bisporus*) under a high oxygen modified atmosphere. Postharvest Biology and Technology, 76, 91-97.

Jiang, T., Feng, L., Li, J. (2012). Changes in microbial and postharvest quality of shiitake mushroom (*Lentinus edodes*) treated with chitosan–glucose complex coating under cold storage. *Food Chemistry*, 131, 780-786.

Jiang, T., feng, L., Zheng, X., Li, J. (2013). Physicochemical responses and microbial characteristics of shiitake mushroom (*Lentinus edodes*) to gum arabic coating enriched with natamycin during storage, *Food Chemistry*, 138, 1992-1997.

Lagnika, C., Zhang, M., Joseph Mothibe., K. (2013). Effects of ultrasound and high pressure argon on physico-chemical properties of white mushrooms (*Agaricus bisporus*) during postharvest storage, *Postharvest Biology and Technology*, 82, 87-94.

Lin, Q., Lu, Y.,Zhang, J., Liu, W., Guan, W., Wang, Z. (2017). Effects of high CO2 in-package treatment on flavor, quality and antioxidant activity of button mushroom (*Agaricus bisporus*) during postharvest storage, *Postharvest Biology and Technology*, 123, 112-118.

**Iranian Food Science and Technology Research Journal**
**Vol. 16, No. 5, Dec- Jan 2021, p. 581-605**

**نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران**
**جلد 16، شماره 5، آذر - دی 1399، ص.605-581**

# Effect of Edible Coating Containing Carboxymethyl Cellulose and Sodium Metabisulfite on the Shelf Life of the Button Mushroom

**M. Rad, H. Ghafori, Z. Gholami**

Received: 2019.06.30
Accepted: 2019.12.17

**Introduction:** Edible mushrooms are among the most perishable products that begin to lose quality immediately after harvest, and the short shelf-life of these products will cause problems when it comes to the marketing and distribution of these products in a fresh form. Edible coatings are a good tool for prolonging the useful life of foods and increasing their quality without contaminating the environment.

**Materials and Methods:** In this study, the possibility of increasing the shelf-life of a button mushroom using blanching followed by coating with carboxymethyl cellulose and sodium metabisulfite was studied. Independent variables included concentrations of carboxymethyl cellulose and sodium metabisulfite (0-2%) and storage time up to 16 days at 4 ° C. This experiment was designed on the basis of three-level factors consisting of 6 central points after 0, 4, 8 and 16 days of storage at 4°C. Factors determined on a button mushrooms included pH measurements, weight loss percentage, soluble solids, texture, color, browning level, total microorganisms count as well as mold and yeast count.

**Results & Discussion:** The results of this study indicated that the sample coated with 2% carboxymethyl cellulose and 2% sodium metabisulfite resulted in an increase in pH level as well as soluble solids. In addition, the slightest color change, weight loss and reduction in tissue stiffness were observed in this sample. The sample coated with 2% carboxymethyl cellulose with 2% sodium metabisulfite had also the lowest total microorganisms count and the count of mold and yeast stored at 4 ° C after 16 days. Based on the results of this study, carboxymethyl cellulose and sodium metabisulfite coatings can be used as an appropriate coating agents for the preservation of organoleptic, chemical, microbial properties and shelf-life of button mushrooms.

**Keywords:** button mushroom, carboxymethyl cellulose, Edible coating, shelf-life, sodium metabisulfite